



Список подсекций:

1. Астрофизика
2. Физика космоса
3. Атомная и ядерная физика
4. Биофизика
5. Геофизика
6. Математика и информатика
7. Математическое моделирование
8. Молекулярная физика
9. Нелинейная оптика
10. Оптика
11. Медицинская физика
12. Радиофизика
13. Сверхпроводящие и электронные свойства твердых тел
14. Твердотельная наноэлектроника
15. Теоретическая физика
16. Физика магнитных явлений
17. Физика твердого тела

Секция «Физика»

10. **Кокшайский А.И.** - Влияние реверсивной статической нагрузки на упругие свойства поликристаллического сплава алюминия АМг6
11. **Коннова Е.О.** - Использование графических ускорителей в моделировании ограниченных ультразвуковых пучков
12. **Красулин О.С.** - Численное моделирование решения задачи томографии океана с учетом взаимодельствия модовых сигналов
13. **Крюков Р.В.** - Применение кодированных сигналов в задаче восстановления акустических нелинейных параметров
14. **Ленец В.А.** - Волоконно-оптическая линия связи для передачи гетеродинных сигналов в активных фазированных антенных решетках
15. **Магошечкина М.С.** - Экспериментальная установка, измеряющая потери в кремниевом осцилляторе, вызванные направлением модернизации квантового стандарта частоты на атомах цезия - 133
16. **Петров А.А.** - Некоторые направления модернизации квантового стандарта частоты на атомах цезия - 133
17. **Рыбина А.В.** - Дипольный отклик диэлектрического шара в среднем ИК-диапазоне
18. **Рычков Е.Н.** - Помехоустойчивость системы связи с OFDM-сигналом на базе вейвлет-преобразования в условиях канала связи с локализованными селективными в частотной области замираниями
19. **Сабиров И.Р.** - Численное исследование особенностей распространения звука в мелком море для целей шумовой томографии
20. **Талевосян С.Р.** - Оценка спектральной эффективности ортогональной

Численное моделирование решения задачи томографии океана с учетом взаимодействия модовых сигналов

Красулин Олег Сергеевич

студент

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
физический факультет, Москва, Россия

E-mail: Zeljin2@gmail.com

Акустическая томография океана [1] позволяет получить информацию о пространственных распределениях различных характеристик акваторий с размерами в десятки, сотни и даже тысячи километров, что делает это подход незаменимым при проведении океанографических исследований на региональном уровне, а также в рамках глобального мониторинга состояния Мирового океана. На текущий момент широко используются приближенные методы решения задачи акустической томографии океана, основанные на линеаризации обратной задачи, а также использующие адиабатическое приближение. В настоящей работе рассматривается решение задачи неадиабатической модовой томографии океана на основе математически строгого функционально-аналитического алгоритма Новикова-Сантацесариа [2]. Данный подход не требует ни линеаризации модели и построения матриц возмущений, ни итераций и привлечения дополнительных процедур регуляризации, что делает перспективным исследование его возможностей в задачах акустической томографии океана. Изначально алгоритм был разработан для решения квантомеханических обратных задач рассеяния. Для исследования возможностей этого алгоритма в задачах томографии океана сначала следует решить прямую задачу – найти акустическое поле при заданных параметрах рассеивателя с учетом взаимодействия мод. Нахождение рассеянных полей отождествляется с решением неоднородного уравнения Гельмгольца $\nabla^2 p(\mathbf{r}) + k_0^2 p(\mathbf{r}) = v(\mathbf{r}, \omega) p(\mathbf{r})$, где функция

рассеивателя $v(\mathbf{r}, \omega) = \omega^2 \left(\frac{1}{c_0^2} - \frac{1}{c^2(\mathbf{r})} \right)$ описывает возмущение скорости звука $c(\mathbf{r})$

относительно известного фонового значения c_0 ; $k_0 = \omega/c_0$, а \mathbf{r} – трехмерный радиус-вектор. В качестве примера, в работе рассмотрено решение данного уравнения для функции рассеивателя, описывающей неоднородность рельефа абсолютно жесткого дна в виде конической горки. В соответствии с [3], коническая горка разбивается на систему концентрических колец равной высоты, после чего к каждой вертикальной границе раздела колец применяются граничные условия. Задача нахождения падающих, прошедших и отраженных полей сводится к решению систем линейных уравнений. В итоге, полное поле находится в виде суммы полей модовых сигналов: $p(\mathbf{r}) = \sum_m \varphi_m(x, y) \psi_m(z)$, где $\varphi_m(x, y)$ – поле

m -ой моды в горизонтальной плоскости (x, y) , $\psi_m(z)$ – профиль m -ой моды. На рис. 1а приведен пример численного моделирования рассеяния первой гидроакустической моды (возбуждаемой в точке излучения) в четвертую моду с параметрами модели, характерными для гидроакустического эксперимента.

Полученные результаты решения прямой задачи позволяют приступить к решению обратной задачи. При этом рассматривается то же самое уравнение Гельмгольца, только функция рассеивателя теперь полагается неизвестной, а известны поля мод, измеренные на границе исследуемой области. С помощью модового представления $p(\mathbf{r}) = \sum_m \varphi_m(x, y) \psi_m(z)$ рассматриваемое уравнение Гельмгольца переписывается в виде:

$\nabla_{x,y}^2 \varphi_m(x, y) + k_0^2 \varphi_m(x, y) = V_{mn}(x, y, \omega) \varphi_n(x, y)$, где матричный оператор

$V_{mn}(x, y, \omega) = [k_0^2 - k_{0m}^2] \delta_{mn} + \int_0^H \psi_m(z) v(\mathbf{r}, \omega) \psi_n(z) dz$ описывает взаимодействие мод,

вызванное присутствием неоднородности $v(\mathbf{r}, \omega)$; k_{0m} – горизонтальное волновое число m -ой моды в фоновом волноводе; δ_{mn} – символ Кронекера. Значения V_{mn} оператора можно определить, опираясь на алгоритм Новикова-Сантацессарина [2]. На рис. 1б, 1в представлены результаты численного моделирования восстановления рассматриваемой функции рассеивателя при использовании данных рассеяния в виде поля первой моды. Как видно на рис. 1, в рассматриваемом случае использование только первой моды позволяет получить результаты восстановления с приемлемой точностью – амплитудные значения, характерные пространственные размеры, а также расположение в акватории функции рассеивателя восстановлены достаточно точно. По-видимому, в случае более сильных рассеивателей, а также в случае присутствия ошибок в исходных данных рассеяния, для повышения устойчивости процедуры восстановления потребуется расчет всех элементов блочной матрицы оператора V_{mn} с последующей совместной оценкой $v(\mathbf{r}, \omega)$ для всех рассматриваемых номеров мод m и n . Численное моделирование задачи томографии океана в таких случаях относится к перспективам дальнейших исследований.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-29-02097 офи_м, № 16-02-00680.

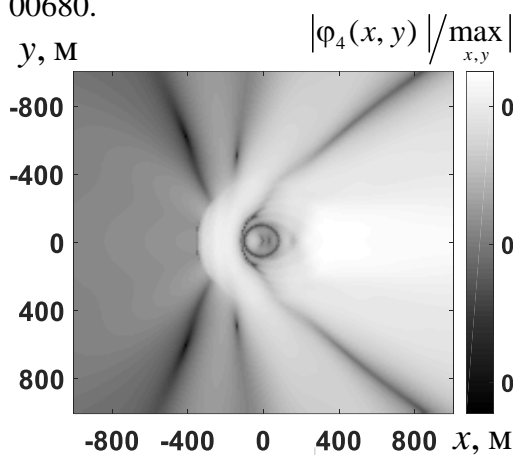
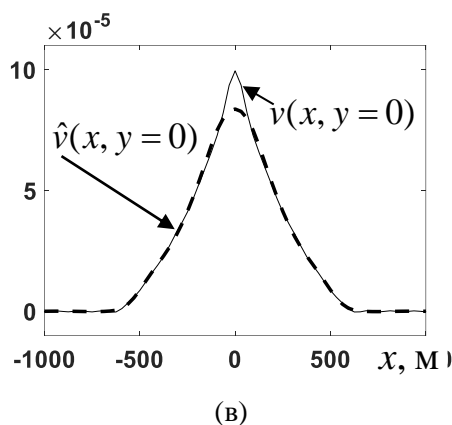
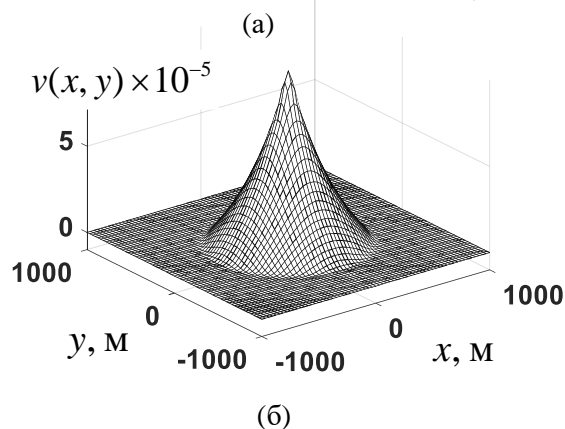


Рис. 1. Горизонтальное распределение $|\varphi_4(x, y)| / \max_{x,y} |\varphi_4(x, y)|$ на фиксированной глубине 100 м при возбуждении первой гидроакустической моды на частоте 40 Гц (а); распределение истинной функции рассеивателя $v(x, y)$ (б); сечения вдоль оси Oy исходной $v(x, y = 0)$ и восстановленной $\hat{v}(x, y = 0)$ функций рассеивателя (в).



Литература

1. Гончаров В.В., Зайцев В.Ю., Куртепов В.М., Нечаев А.Г., Хилько А.И. Акустическая томография океана. Н. Новгород: ИПФ РАН, 1997. 255 с.
2. Novikov R.G., Santacesaria M. Monochromatic reconstruction algorithms for two-dimensional multi-channel inverse problems // International Mathematics Research Notices. 2013. V. 2013. N 6. P. 1205–1229.
3. Wenyu Luo. Three-Dimensional Propagation and Scattering around Conical Seamount. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology. 2007. 261 p.